

УДК 556.314.6:628.112(571.151)

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ПИТЬЕВЫХ ВОД РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

Робертус Юрий Владимирович,

канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотр. Института водных
и экологических проблем СО РАН, Россия, 656038, Алтайский край,
г. Барнаул, ул. Молодежная, 1. E-mail: ariecol@mail.gornyu.ru

Рихванов Леонид Петрович,

д-р геол.-минерал. наук, профессор кафедры геоэкологии и геохимии
Института природных ресурсов ТПУ,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: rikhvanov@tpu.ru

Соктоев Булат Ринчинович,

аспирант кафедры геоэкологии и геохимии Института природных
ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30.
E-mail: bulatsoktoev@gmail.com

Актуальность работы обусловлена возможностью применения накипи питьевых вод как индикатора качества воды и особенно-стей водовмещающих пород.

Цель работы: Изучение особенностей накопления химических элементов (тяжелых металлов, редких, редкоземельных и радиоактивных элементов) в солевых отложениях, формирующихся в бытовых условиях при кипячении воды. Исследования проводились на территории Республики Алтай.

Методы исследования: Основным методом определения элементного состава являлся инструментальный нейтронно-активационный анализ.

Результаты: Выделена региональная специфика накипи из населенных пунктов Республики Алтай. Распределение химических элементов зависит от литологического состава водовмещающих пород: максимальные концентрации халько- и литофильных элементов приурочены к глинистым отложениям; Na, Zn, Br – к базальтовым и андезит-базальтовым порфиритам; Fe, Cr, Co – к карбонатным фациям. Для разновозрастных водовмещающих геологических формаций также наблюдается геохимическая специализация накипи подземных вод. Показано, что элементный состав солевых отложений наследует химический состав подземных вод, используемых в питьевых целях. Делается вывод о том, что показатели накопления элементов в накипи могут быть использованы для уточнения геохимической специализации водовмещающих образований, а ее химический состав – как показатель качества питьевых вод.

Ключевые слова:

Республика Алтай, подземные питьевые воды, накипь, особенности химического состава.

В последние годы качество подземных питьевых вод, используемых для централизованного водоснабжения более 80 % жителей Республики Алтай (РА), является предметом экологического и социально-гигиенического мониторинга, проводимого по линии Минприроды России и Роспотребнадзора соответственно.

Возраст водовмещающих пород на территории РА варьируется от рифея до голоцена, но преобладают водоносные комплексы в кембрийско-девонских осадочных и осадочно-вулканогенных толщах складчатого фундамента, а также водоносные горизонты среди неоген-четвертичных аллювиальных отложений межгорных впадин и долин крупных рек [1]. Несмотря на разнообразие литолого-стратиграфических и структурно-тектонических особенностей водоносных горизонтов (комплексов, блоков, зон), химический состав подземных вод имеет в целом выдержанный характер. По химическому составу подземные воды РА относятся к типу пресных (средняя минерализация 0,4 г/дм³) нейтральных (рН 7–8) существенно гидрокарбонатных натриево-магниевых-кальциевых среднеже-

стких вод (4,5 мг-экв.). В физиологическом отношении их отличает не всегда оптимальная минерализация, дефицит йода и фтора [2, 3].

Отметим, что на территории РА в настоящее время отсутствуют промышленные предприятия, поэтому техногенного загрязнения подземных вод не происходит.

Прежними исследованиями [4–6] установлено, что одним из объективных показателей качества питьевой воды является химический состав ее солевых отложений (накипи), образующихся на стенках теплообменных аппаратов (паровых котлов, водонагревателей и др.). В частности, установлено, что состав накипи из бытовой нагревательной посуды (чайников, кастрюль) адекватно отражает уровни присутствия большого спектра химических элементов в воде, в том числе многих тяжелых металлов, РЗЭ, лантаноидов, не оцениваемых в процессе вышеотмеченного эколого-гигиенического мониторинга.

В 2012 г. авторами проведено изучение элементного состава солевых отложений (накипи) подземных питьевых вод из водозаборных сква-



Рис. 1. Схема изученности накипи подземных питьевых вод в Республике Алтай

жин на территории 49 населенных пунктов во всех административных районах Республики Алтай (рис. 1). В каждом пункте взято по одной пробе накипи, общее число проб составило 49 шт.

Отбор и подготовка проб к анализу осуществлялась в соответствии с рекомендациями, изложенными в патенте «Способ определения участков загрязнения ураном окружающей среды» [7]. Согласно инструкциям, пробы накипи отбирались из бытовой посуды, в которой кипятилась вода, например, из эмалированных и пластиковых чайников, кастрюль, котлов, самоваров. При невозможности отбора пробы простым постукиванием применялся нож из нержавеющей стали для снятия накипи со стенок посуды. В каждом случае фиксировался тип посуды и глубина залегания водоносного горизонта, откуда бралась питьевая вода.

Пробоподготовка образцов накипи к элементному анализу включала в себя несколько стадий. Для начала проба высушивалась при комнатной температуре, далее истиралась в агатовой ступке до состояния пудры и в конце развешивалась в пакетики из алюминиевой фольги по 100 мг каждой пробы.

Методом определения элементного состава солевых отложений питьевых вод являлся инструментальный нейтронно-активационный анализ на 28 химических элементов, проведенный на исследовательском реакторе ИРТ-Т в лаборатории ядерно-геохимических методов исследования Томского политехнического университета (аналитики А.Ф. Судыко, Л.Ф. Богутская). В качестве контроля использовался стандартный образец (ГСО 7126-94) состава байкальского ила БИЛ-1.

Основу изученного химического состава солевых отложений (накипи) подземных питьевых вод РА составляет кальций (95,5 % от состава), в меньшей степени железо (3 %), цинк (0,7 %) и

стронций (0,5 %). Минеральный состав накипи пока не изучен. По данным [8], кальций представлен его карбонатом (арагонит), а железо – гидроксидом.

Диапазон концентраций химических элементов в накипи составляет от 5 раз (кальций) до 4 порядков (Co, As, Sb) при преобладании разброса в 2-3 порядка. Минимальные уровни присутствия (сотые-тысячные г/т) проявлены для золота, максимальные (первые десятки весовых %) – для кальция. По величине коэффициента вариации изученные химические элементы условно делятся на 4 группы (табл. 1): 1 – Ca (V<50 %), 2 – Br, Sr, Ag, Ce, Nd, Lu, U (V=50...100 %), 3 – Na, Zn, Ba, Sc, Rb, PЗЭ, Au, Th (V=100...300 %), 4 – Fe, Cr, Co, As, Sb (V>300 %).

Для кальция – субстрата накипи, присущ выдержанный характер распределения, а для ряда лито- и сидерофильных элементов – крайне невыдержанное распределение. Кроме кальция все изученные элементы характеризуются логарифмически нормальным распределением, устанавливаемым по линейным графикам накопленных частот встречаемости их содержания (рис. 2). Для большинства химических элементов в самой верхней части графиков их распределения проявлен Г-образный излом, указывающий на наличие второстепенного максимума аномально повышенных концентраций. Последние, как правило, отмечены в пробах накипи подземных вод среди зон рассеянной минерализации, первичных литохимических ореолов, что указывает на унаследованный характер состава накипи от геохимических особенностей водовмещающих толщ.

Анализ распределения изученных химических элементов в накипи подземных вод среди различных литофаций показал, что максимальные концентрации (в 2,5-15 раз выше среднего) большин-

Таблица 1. Параметры распределения элементов (г/т) в накипи подземных вод (n=49)

Параметр	Ca	Na	Fe	Cr	Co	Zn	As	Sb	Ba	Sr	Br	La	Ce	Nd	Sm	Yb	Au	Th	U
min	4,5	0,001	0,01	0,12	0,07	10	0,05	0,003	22	60	1,5	0,01	0,02	0,5	0,01	0,00	0,001	0,01	0,5
max	30,6	0,130	16,50	634,9	235,3	13931	150,2	10,99	1247	7007	17,8	2,03	3,56	14,6	0,48	0,21	0,030	0,65	48,2
\bar{X}	26,1	0,018	0,82	22,6	14,0	2048	5,4	0,48	151	1546	7,9	0,34	0,80	4,1	0,10	0,04	0,004	0,10	10,9
σ , г/т	4,5	0,026	3,02	93,0	44,6	3172	21,5	1,61	188	1415	4,0	0,39	0,72	2,5	0,11	0,05	0,004	0,14	8,9
V, %	17	146	366	411	320	155	396	337	125	92	51	116	89	62	107	120	106	140	82

Примечание: содержание кальция, натрия и железа в вес. %.

ства халько- и литофильных элементов проявлены в глинистых породах крупных межгорных впадин. Для накипи вод среди базальтовых и андезито-базальтовых порфиритов характерен высокий уровень присутствия натрия, цинка и брома, а среди карбонатных фаций – железа, хрома и кобальта (табл. 2).

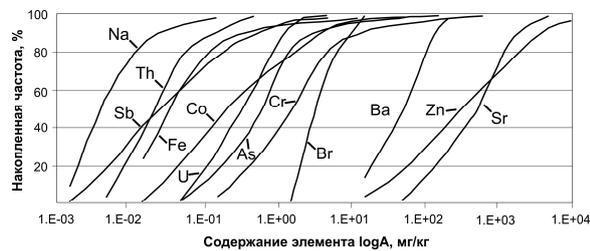


Рис. 2. Графики распределения химических элементов в накипи подземных вод РА

Для разновозрастных водовмещающих геологических формаций также наблюдается геохимическая специализация накипи подземных вод. Так, наиболее высокими концентрациями 15 из 28 изученных химических элементов характеризуется накипь артезианских вод среди неогеновых песчано-глинистых отложений Чуйской впадины (табл. 3). Обращает на себя внимание высокое содержание в накипи из вод впадины Au, Th, U, As,

Ba, Sr, что предположительно указывает на их сорбированное нахождение среди углеродистых пород этих отложений.

Менее интенсивно проявленные максимумы содержания элементов в накипи подземных вод связаны с полями развития вулканитов венд-кембрийского и ниже-среднедевонского возраста, отвечающих основным этапам тектоно-магматической активности региона. Так, для накипи водовмещающих толщ мафических вулканитов венд-кембрия характерны максимальные концентрации сидерофильных элементов (Fe, Cr, Co). Напротив, для накипи вод салических вулканитов девона более характерны литохалькофильные, редкоземельные и радиоактивные элементы (Zn, Ba, Sr, U и др.).

Примечательно, что уровни присутствия элементов в накипи вод четвертичных отложений и пород складчатого фундамента в целом близки, что объясняется незначительной мощностью рыхлого чехла и его присутствием в отрицательных морфоструктурах, в зоне активного водообмена с водами фундамента.

К особенностям взаимосвязей элементов в накипи питьевых вод РА относится (табл. 4):

- отсутствие корреляционных связей кальция с другими химическими элементами (кроме железа), указывающее на его «независимое» от

Таблица 2. Среднее содержание элементов в накипи вод водовмещающих пород (г/т)*

Породы	Ca	Na	Fe	Cr	Co	Zn	As	Sb	Ba	Sr	Br	La	Ce	Nd	Sm	Yb	Au	Th	U
ПГС	25,1	0,012	0,13	10,4	10,7	2705	1,3	0,15	150	1488	7,0	0,27	0,86	3,6	0,07	0,04	0,004	0,07	8,7
Глины	22,0	0,038	0,71	5,1	5,9	898	76,1	0,58	861	3037	5,1	1,10	1,12	10,2	0,34	0,06	0,018	0,33	30,5
Песчаники	26,4	0,020	0,08	5,9	1,3	890	2,4	1,09	108	1519	6,8	0,31	0,80	4,0	0,11	0,03	0,003	0,09	10,8
Порфиры, туфы	26,6	0,014	0,03	1,7	2,1	2335	0,9	0,16	86	2782	5,8	0,12	0,54	3,4	0,04	0,02	0,001	0,05	10,3
Порфириты	27,4	0,070	0,09	7,0	7,2	3044	1,5	0,15	98	1301	12,1	0,36	0,54	4,2	0,09	0,06	0,001	0,12	7,7
Известняки	25,1	0,024	3,77	163,5	53,2	1626	1,9	0,59	100	1040	9,5	0,44	1,06	2,5	0,10	0,06	0,005	0,14	6,6
Метасланцы	25,5	0,008	1,35	5,4	20,0	2349	4,1	0,24	128	1198	9,4	0,30	0,72	4,2	0,10	0,04	0,004	0,09	11,5

* – содержание кальция, натрия и железа в вес. %; выделено максимальное содержание элементов.

Таблица 3. Среднее содержание элементов в солевых отложениях подземных вод (г/т)*

Толщи	Ca	Na	Fe	Cr	Co	Zn	As	Sb	Ba	Sr	Br	La	Ce	Nd	Sm	Yb	Au	Th	U
Q _{III-IV}	26,5	0,009	1,64	13,2	35,2	2908	2,2	0,44	148	1442	7,1	0,32	0,94	3,5	0,07	0,05	0,004	0,11	8,7
N	22,5	0,038	0,71	5,1	5,9	899	76,1	0,58	861	3037	5,1	1,10	1,12	10,2	0,34	0,06	0,018	0,33	30,5
D	26,6	0,025	0,05	3,9	2,5	2567	0,9	0,10	104	2030	8,0	0,25	0,57	4,2	0,07	0,03	0,002	0,06	12,5
Є ₂ -S	27,4	0,020	0,09	6,8	1,4	1867	2,3	1,09	119	1650	7,2	0,38	1,00	4,1	0,14	0,04	0,004	0,11	9,6
V-Є ₁	26,0	0,018	2,63	26,3	37,9	2529	1,5	0,34	85	942	9,0	0,34	0,73	3,1	0,09	0,05	0,003	0,11	7,1

* – содержание кальция, натрия и железа в вес. %; выделено максимальное содержание элементов.

Таблица 4. Связи химических элементов в солевых отложениях подземных вод РА

Na	Ca	Cr	Fe	Co	Zn	As	Br	Sr	Sb	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Yb	Au	Th	U	
1,00	-0,18	0,08	0,23	0,22	-0,11	0,06	0,36	0,11	0,22	0,05	0,46	0,20	0,22	0,31	0,33	0,07	0,53	0,24	Na
	1,00	-0,02	±0,34	-0,32	0,04	-0,20	-0,21	0,24	-0,03	-0,11	-0,19	-0,11	0,17	0,01	-0,25	-0,13	-0,23	0,03	Ca
		1,00	0,21	0,20	-0,02	-0,04	0,24	-0,02	0,09	0,02	0,04	0,12	-0,11	-0,12	0,23	0,16	0,04	-0,09	Cr
			1,00	0,98	-0,02	0,05	0,18	-0,16	0,19	-0,06	0,26	0,18	-0,27	-0,14	0,69	0,06	0,47	-0,13	Fe
				1,00	0,06	0,02	0,19	-0,19	0,20	-0,08	0,30	0,22	-0,29	-0,13	0,73	0,06	0,48	-0,14	Co
					1,00	-0,07	0,22	-0,07	-0,01	-0,21	0,33	0,01	-0,15	0,09	0,36	0,00	0,13	-0,19	Zn
						1,00	0,01	-0,05	0,06	0,83	-0,04	-0,12	0,07	0,40	-0,06	0,75	-0,04	0,02	As
							1,00	-0,17	-0,01	-0,03	0,11	0,06	0,07	0,06	0,16	-0,02	0,15	0,13	Br
								1,00	-0,09	0,23	0,21	0,05	0,62	0,40	-0,11	-0,02	0,13	0,63	Sr
									1,00	0,00	0,13	0,09	-0,04	0,06	0,25	0,38	0,27	-0,03	Sb
										1,00	0,09	0,14	0,40	0,46	-0,14	0,71	0,03	0,32	Ba
											1,00	0,57	0,36	0,54	0,70	0,14	0,89	0,38	La
												1,00	0,17	0,36	0,38	0,09	0,56	0,07	Ce
													1,00	0,53	-0,13	0,18	0,25	0,90	Nd
														1,00	0,15	0,47	0,37	0,46	Sm
															1,00	0,76	0,76	-0,06	Yb
																1,00	0,08	0,13	Au
																	1,00	0,30	Th
																		1,00	U

Примечание: выделены значимые корреляционные связи элементов: курсивом на уровне вероятности 95 % жирным шрифтом на уровне 99 %

них поступление в накипь из солевого состава вод;

- отрицательная значимая связь кальция и железа, свидетельствующая о разных минеральных формах их нахождения в накипи (карбонаты и гидрооксиды соответственно);
- практически прямая зависимость содержания железа и кобальта, предположительно указывающая на сорбцию последнего гидроокислами железа;
- тесные связи золота с мышьяком, сурьмой и барием, характерные для золотооруденения региона.

Сравнение диапазонов содержания и средних концентраций элементов в накипи подземных питьевых вод Республики Алтай, Томской области [8] и Байкальского региона [9] говорит об их близком между собой химическом составе (рис. 3). В то же время в накипи вод РА по сравнению с соевыми отложениями Томской области вариабельность и среднее содержание большинства элементов в целом ниже, кроме цинка, мышьяка, брома, стронция, хрома, урана. Отличительной чертой химического состава накипи подземных вод РА является также более высокий (в среднем в 5 раз) уровень присутствия урана при равенстве среднего содержания тория (0,1 г/т), а также на 1,5–2 порядка более низкие концентрации золота (среднее 0,004 против 0,1 г/т для накипи Томской области, а максимальное 0,03 против 27 г/т).

В накипи подземных питьевых вод Байкальского региона относительно охарактеризованных субъектов проявлено аномально высокое присутствие натрия (в среднем 1 %), мышьяка (380 г/т) и весьма низкое среднее содержание цинка (32 г/т).

Предварительно рассчитанные отношения среднего содержания химических элементов в подземных питьевых водах РА и в их солевых отложениях говорят о разной степени их накопления в накипи. Так,

средний уровень накопления хрома в накипи составляет 1500 раз, кальция и бария – 4000, урана – 6500, железа и кобальта – 25000, цинка – 100000 раз.

Для более детально изученной накипи подземных питьевых вод Байкальского региона [9], полученной путем выпаривания воды, коэффициенты накопления химических элементов варьируются в очень больших пределах – от единиц (никель) до сотен тысяч (Co, As, Ti, Cr, P, Ge, Ga). Большинство элементов накипи имеют коэффициенты накопления от 1000 до 30000 (рис. 4).

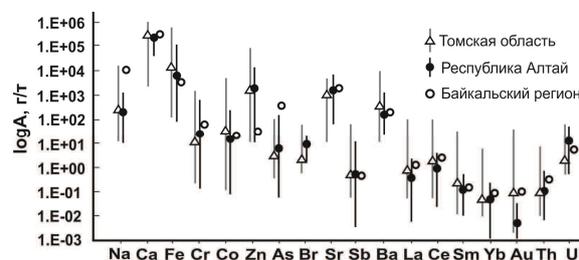


Рис. 3. Разброс и среднее содержание элементов в накипи подземных питьевых вод Республики Алтай, Томской области и Байкальского региона

Имеющиеся данные позволяют считать, что накопление химических элементов в накипи отличных по геологическому строению регионов имеет свои индивидуальные особенности. Для их сравнительной характеристики предлагается использовать геохимический ряд коэффициентов накопления (Кн) основных элементов накипи. К числу последних следует отнести кальций, карбонат которого является матрицей накипи, а также находящиеся с ним в «противофазе» железо и алюминий, присутствующие преимущественно в виде оксидов и гидрооксидов [4]. К второстепенным, но характерным элементам накипи относится геохимически близкий к кальцию стронций, предположительно присутствующий в форме стронцианита, а

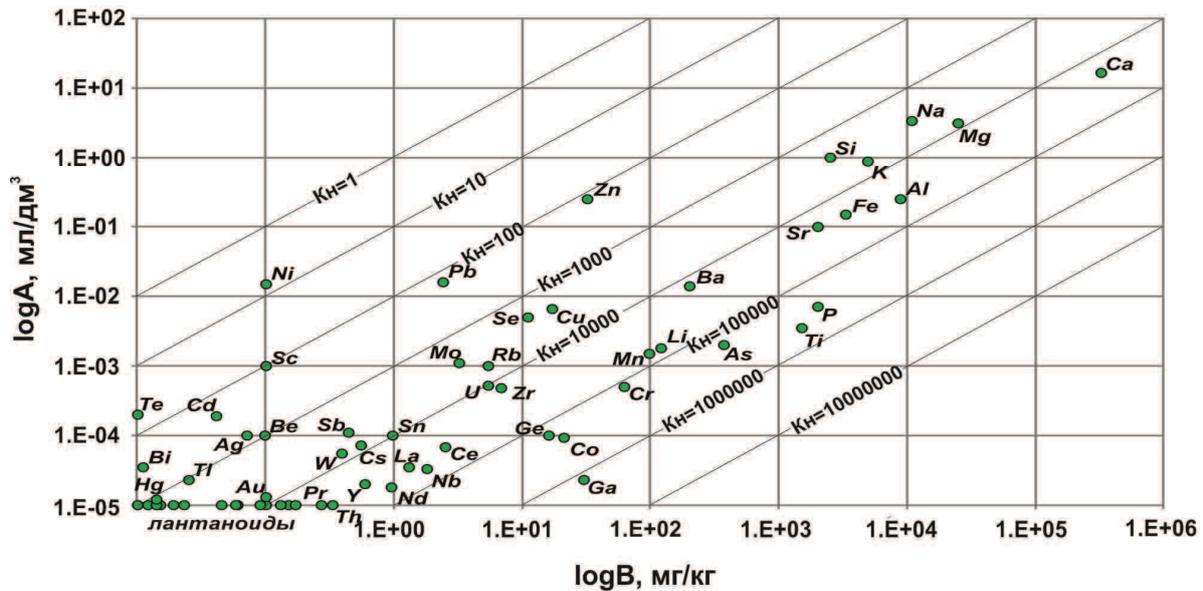


Рис. 4. Уровни накопления химических элементов в накипи подземных питьевых вод РА: А – содержание химического элемента в воде, мг/дм³; В – содержание химического элемента в солевых отложениях, мг/кг

также барий и цинк, содержание которых достигает первых процентов от массы накипи.

Предлагаемая усредненная геохимическая формула накипи питьевых вод на примере Байкальского региона будет иметь следующий вид:

$\text{Ca}18000\text{--Al}36000\text{--Fe}24500\text{--Sr}21400\text{--Ba}18500\text{--Zn}110$.

Для накипи питьевых вод Республики Алтай предварительно рассчитанная формула имеет вид:

$\text{Ca}4000\text{--Al}$ (нет данных) –
 $\text{--Fe}25000\text{--Sr}22000\text{--Ba}4000\text{--Zn}11000$.

Сравнение этих формул говорит как об их близости, так и о некотором отличии, обусловленном главным образом различием содержания химических элементов в природной воде. Возможны варианты с расширенным перечнем элементов, но следует иметь в виду, что для элементов с низким уровнем присутствия различия их коэффициентов накопления будут еще более значительными.

Выводы

Максимальные уровни присутствия большинства химических элементов в накипи проявлены для водоносных горизонтов среди углефицированных песчано-глинистых отложений чехла Чуйской межгорной впадины с признаками сорбционного накопления элементов.

Элементный состав солевых отложений (накипи) в целом согласуется с химическим составом подземных вод, используемых в питьевых целях, которые, в свою очередь, наследуют основные черты вещественного состава водовмещающих пород.

Показатели накопления элементов в накипи могут быть использованы для уточнения геохимической специализации водовмещающих образований, а ее химический состав – как индикатор качества питьевых вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрогеология СССР. Т. XVII. Кемеровская область и Алтайский край. – М.: Недра, 1972. – 606 с.
2. Кац В.Е. Хозяйственно-питьевые воды Республики Алтай и проблемы их изучения // Геоэкология Алтае-Саянской горной страны. – 2004. – № 1. – С. 123–125.
3. Кац В.Е., Фалалеев Ю.А. Особенности состояния подземных вод в Республике Алтай // Природные ресурсы Горного Алтая. – 2006. – № 1. – С. 75–80.
4. Язиков Е.Г., Рихванов Л.П., Барановская Н.В. Индикаторная роль солевых образований в воде при геохимическом мониторинге // Известия вузов. Геология и разведка. – 2004. – № 1. – С. 67–69.
5. Язиков Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – Томск, 2006. – 47 с.
6. Evaluation of drinking water according to geochemical composition of its salt deposition / L.P. Rikhvanov, N.V. Baranovskaya, B.R. Soktoev, T.A. Mongolina // Proceedings of 8th International Conference «Environmental Engineering». – Vilnius, Lithuania, May 19–20, 2011. – P. 337–342.
7. Способ определения участков загрязнения ураном окружающей среды: пат. 2298212 Рос. Федерация. № 2005120840; заявл. 04.07.05; опубл. 27.04.07, Бюл. № 12. – 6 с.
8. Монголина Т.А. Геохимические особенности солевых отложений (накипи) питьевых вод как индикатора природно-техногенного состояния территории: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2011. – 21 с.
9. Соктоев Б.Р., Рихванов Л.П., Тайсаев Т.Т. Геохимические особенности солевых отложений питьевых вод Байкальского региона // Современные проблемы геохимии: Матер. Всеросс. совещ. – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2012. – Т. 1. – 241–244.

Поступила 01.10.2013 г.

FEATURES OF CHEMICAL COMPOSITION OF SALT DEPOSITS IN UNDERGROUND DRINKING WATER OF ALTAI REPUBLIC

Yury V. Robertus,

Cand. Sc., Institute for water and environmental problems of SB RAS
Russia, 656038, Altai Territory, Barnaul, Molodezhnaya atreet, 1.
E-mail: ariecol@mail.gorny.ru

Leonid P. Rikhvanov,

Dr. Sc., Tomsk Polytechnic University,
Russia, 634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30. E-mail: rikhvanov@tpu.ru

Bulat R. Soktoev,

Tomsk Polytechnic University, Russia, 634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30.
E-mail: bulatsoktoev@gmail.com

The urgency of the discussed issue is conditioned by the possibility of applying drinking water limescale as an indicator of features of water-bearing rocks and quality of water.

The main aim of the study is to investigate the features of chemical elements accumulation (heavy metals, rare, rare-earth and radio-active elements) in salt deposits, formed at water boiling on the territory of Altai Republic.

The methods used in the study: Their main method of element composition analysis was instrumental neutron activation analysis.

The results: The authors have stated the regional specific features of limescale in settlements of Altai Republic. Distribution of chemical elements depends on lithological composition of water-bearing rocks: maximum concentrations of chalcophile and lithophile elements are associated with clay sediments; Na, Zn, Br – with basaltic and andesite-basaltic porphyrites; Fe, Cr, Co – with carbonate facies. The geochemical specialization of underground water limescale appears also in water-bearing geologic formations of different age. It was shown that element composition of salt deposits correlates with chemical composition of underground water used in drinking water-supply. The authors make the conclusion that indicators of elements accumulation in limescale can be used for correcting geochemical features of water-bearing rocks and its chemical composition – as an indicator of drinking water quality.

Key words:

Altai Republic, underground drinking water, scale, particularly the chemical composition.

REFERENCES

1. *Gidrogeologiya SSSR. Kemerovskaya oblast i Altayskiy kray* [Hydrogeology of the USSR. Kemerovo region and Altai Territory]. Moscow, Nedra, 1972. Vol. XVII. 606 p.
2. Kats V.E. Hozyaystvenno-pitevye vody Respubliki Altai i problemy ikh izucheniya [Drinking water of the Republic of Altai and the problems in its research]. *Geokologiya Altae-Sayanskoy gornoy strany*, 2004, no. 1, pp. 123–125.
3. Kats V.E., Falaleev Yu.A. Osobennosti sostoyaniya podzemnykh vod v Respublike Altai [Features of underground water state in the Republic of Altai]. *Prirodnye resursy Gornogo Altaya*, 2006, no. 1, pp. 75–80.
4. Yazikov E.G., Rikhvanov L.P., Baranovskaya N.V. Indikatornaya rol solevykh obrazovaniy v vode pri geokhimicheskoy monitoring [Indicating role of salt formations in water at geochemical monitoring]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*, 2004, no. 1, pp. 67–69.
5. Yazikov E.G. *Ekogeokhimiya urbanizirovannykh territoriy yuga Zapadnoy Sibiri. Avtoreferat dis. dokt. nauk* [Ecological geochemistry of urbanized territories in the south of Western Siberia. Dr. Diss.]. Tomsk, 2006. 47 p.
6. Rikhvanov L.P., Baranovskaya N.V., Soktoev B.R., Mongolina T.A. Evaluation of drinking water according to geochemical composition of its salt deposition. *Proceedings of 8th International Conference «Environmental Engineering»*. Vilnius, Lithuania, May 19–20, 2011. pp. 337–342.
7. *Sposob opredeleniya uchastkov zagryazneniya uranom okruzhayushhey sredy* [The method for determining environmental uranium contamination areas]. Patent RF, no. 2005120840, 2007.
8. Mongolina T.A. *Geokhimicheskie osobennosti solevykh otlozheniy (naki) pitevykh vod kak indikatora prirodno-tekhnogennoy sostoyaniya territorii. Avtoreferat dis. kand. nauk* [Geochemical characteristics of salt sediments (scale) of drinking water as an indicator of natural technogenic state of the territory]. Tomsk, 2011. 21 p.
9. Soktoev B.R., Rikhvanov L.P., Taysaev T.T. Geokhimicheskie osobennosti solevykh otlozheniy pitevykh vod Baykalskogo regiona [Geochemical features of salt sediments in drinking waters of Baykal region]. *Sovremennye problemy geokhimii. Materialy Vserossiyskogo soveshchaniya* [Current problems of geochemistry. Proc. All-Russian meeting]. Irkutsk, IG SO RAN Publ., 2012. Vol. 1, pp. 241–244.